

บทที่ 6

การหาน้ำหนักรถที่วิ่งอยู่บนสะพานโดยไม่พิจารณาผลการบิดของสะพาน

จากการวิเคราะห์ปฏิกิริยาการตอบสนองซึ่งกันและกันระหว่างสะพานกับรถบรรทุก ซึ่งได้กล่าวถึงในบทที่ 2 จะสามารถหาสัญญาณความเครียดที่ตำแหน่งใดๆ เนื่องจากรถที่วิ่งอยู่บนสะพานได้ โดยจะพิจารณาให้รถวิ่งอยู่ที่ตำแหน่งแนวกลางของสะพานเท่านั้น เพื่อไม่ให้สะพานเกิดการบิด หลังจากนั้นจะนำสัญญาณความเครียดดังกล่าว มาใช้ในการหาน้ำหนักรถ ด้วยวิธีไดนามิคโปรแกรมมิ่ง และวิธียกกำลังสองน้อยที่สุดซึ่งการประมวลผลของทั้งสองวิธีจะใช้โปรแกรม MATLAB ในการประมวลผล โดยจะทำการศึกษาถึงผลของความถี่ระดับของความขรุขระของผิวทาง น้ำหนักรวมของรถ อัตราส่วนของน้ำหนักเพลาน้ำหนักหน้าต่อน้ำหนักรวมของรถสถานะเริ่มต้นของรถก่อนที่จะเข้าสะพาน ความคลาดเคลื่อนของระยะห่างระหว่างเพลาลังจากนั้นนำผลที่ได้จากทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งการเปรียบเทียบจะแบ่งออกเป็น

1. การเปรียบเทียบกับน้ำหนักรวมจริงทางสถิติ
2. การเปรียบเทียบกับน้ำหนักรวมจริงทางพลศาสตร์

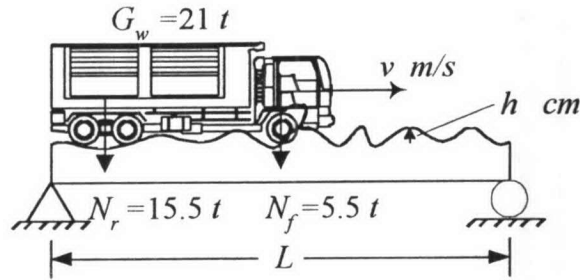
6.1 การสร้างสัญญาณความเครียดจากรถที่วิ่งอยู่บนสะพานโดยไม่พิจารณาผลการบิดของสะพาน

สะพานที่ใช้ในการศึกษาจะใช้แบบจำลองสะพาน 3 มิติดังที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 2 ซึ่งมีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้คือ ความกว้างของสะพาน $B = 8.2$ เมตร, ความยาวของสะพาน $L = 35$ เมตร, น้ำหนักของสะพาน $m_0 = 332$ กิโลกรัม/เมตร², $EI = 1.71 \times 10^{10}$ นิวตัน.เมตร², $\omega_1 = 20.1$ Hz, $\omega_2 = 80.4$ Hz, $\omega_3 = 180.9$ Hz และ $\omega_4 = 15.71$ Hz (ω_1, ω_2 และ ω_3 คือความถี่เชิงมุมของโหมดการดัดในโหมดที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วน ω_4 คือความถี่ธรรมชาติเชิงมุมของโหมดการบิดในโหมดที่ 1), $\zeta_1 = \zeta_2 = \zeta_3 = \zeta_4 = 0.01$ (ζ_1, ζ_2 และ ζ_3 คือสัดส่วนความหน่วง (damping ratio) ของโหมดการดัดในโหมดที่ 1, 2, และ 3 ตามลำดับ ส่วน ζ_4 คือสัดส่วนความหน่วงของโหมดการบิดในโหมดที่ 1) ระยะจากแนวแกนสะเทินถึงท้องสะพานเท่ากับ 1.1 เมตร ซึ่งการศึกษานี้จะแบ่งการพิจารณาออกเป็น

6.1.1 พิจารณาผลของความถี่รถกับระดับของความขรุขระของผิวทาง

ในกรณีนี้จะกำหนดให้รถบรรทุกมีน้ำหนักรวม G_w เท่ากับ 21 ตัน (2.1×10^5 นิวตัน) ซึ่งเป็นน้ำหนักเพลาน้ำหนักหน้า N_f เท่ากับ 5.5 ตัน (5.5×10^4 นิวตัน) และน้ำหนักเพลาลัง N_r เท่ากับ 15.5 ตัน (1.55×10^5 นิวตัน) ดังรูปที่ 6.1

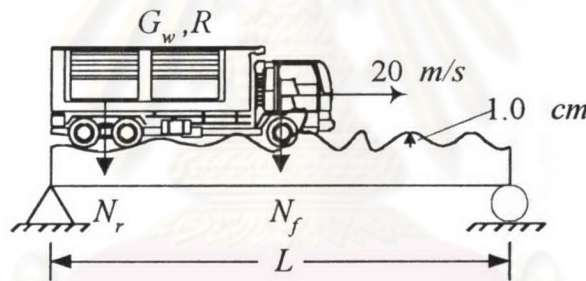
6.1 วิ่งอยู่ที่ตำแหน่งแนวกลางของสะพานที่มีจุดรองรับเป็นแบบธรรมดา ด้วยความเร็วคงที่ v ที่ค่าต่างๆ คือ 1, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เมตรต่อวินาที และระดับของความขรุขระของผิวทาง h ที่แตกต่างกันคือ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 เซนติเมตร



รูปที่ 6.1 การสร้างความเครียดเมื่อพิจารณาผลของความเร็วรถกับระดับของความขรุขระของผิวทาง

6.1.2 พิจารณาผลของอัตราส่วนของน้ำหนักเพลาน้ำต่อน้ำหนักรวมของรถ

ในกรณีนี้จะกำหนดให้รถบรรทุกวิ่งด้วยความเร็วคงที่ 20 เมตรต่อวินาที และระดับของความขรุขระของผิวทางเท่ากับ 1.0 เซนติเมตร โดยที่น้ำหนักรวมของรถบรรทุกจะมีค่าต่างๆกันคือ 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 ตัน และอัตราส่วนของน้ำหนักเพลาน้ำต่อน้ำหนักรวมของรถ ($R = N_f / G_w$) ที่ค่าต่างๆกันคือ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์

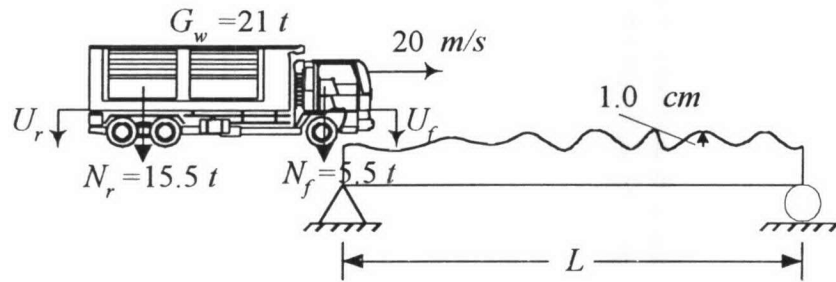


รูปที่ 6.2 การสร้างความเครียดเมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนของน้ำหนักเพลาน้ำต่อน้ำหนักรวมของรถ

6.1.3 พิจารณาผลของสภาวะเริ่มต้นของรถก่อนที่จะเข้าสะพาน

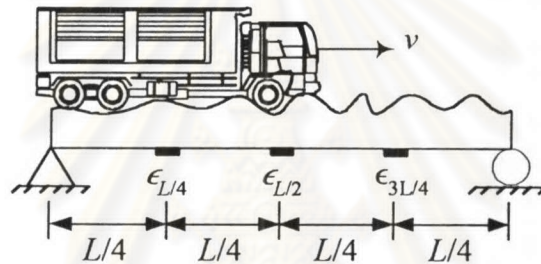
ในกรณีนี้จะกำหนดให้รถบรรทุกซึ่งมีคุณสมบัติต่างๆ เช่นเดียวกับหัวข้อ 6.1.1 วิ่งอยู่ที่ตำแหน่งแนวกลางของสะพานด้วยความเร็วคงที่ 20 เมตรต่อวินาที และระดับของความขรุขระของผิวทางเท่ากับ 1.0 เซนติเมตร โดยจะมีการกำหนดสภาวะเริ่มต้นของรถก่อนที่จะเข้าสะพาน ในลักษณะของการสั่นไหวขึ้น-ลงของรถที่ตำแหน่งด้านหน้า (U_f) และตำแหน่งด้านหลัง (U_r) ดังรูปที่ 6.3 ซึ่งการสั่นไหวขึ้น-ลงของรถจะมีค่าต่างๆ คือ -10, -5, 0, 5 และ 10 เซนติเมตร (+, - คือการสั่นไหวของรถในทิศขึ้นและลงตามลำดับ)

จากการพิจารณาผลต่างๆดังหัวข้อ 6.1.1, 6.1.2 และ 6.1.3 แล้วทำการวิเคราะห์เชิงโหมดโดยใช้สมการที่ (2.37) จะสามารถหาการสั่นไหวของสะพานที่ตำแหน่งใดๆได้ หลังจากนั้นหาสัญญาณความเครียดที่ตำแหน่งใดๆของสะพานจากสมการที่ (2.43) ซึ่งสัญญาณความเครียดที่นำมาใช้เป็นข้อมูลในการหาน้ำหนักรถ



รูปที่ 6.3 การสร้างความคิดเมื่อพิจารณาผลของสภาวะเริ่มต้นของรถก่อนที่จะเข้าสะพาน

จะใช้สัญญาณความคิดที่ตำแหน่งแนวกลางของสะพานที่ระยะ $L/4, L/2$ และ $3L/4$ ดังรูปที่ 6.4 โดยสัญญาณความคิดที่ใช้จะถูกแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 500 ช่วงเท่าๆกัน เช่นเดียวกับบทที่ 5

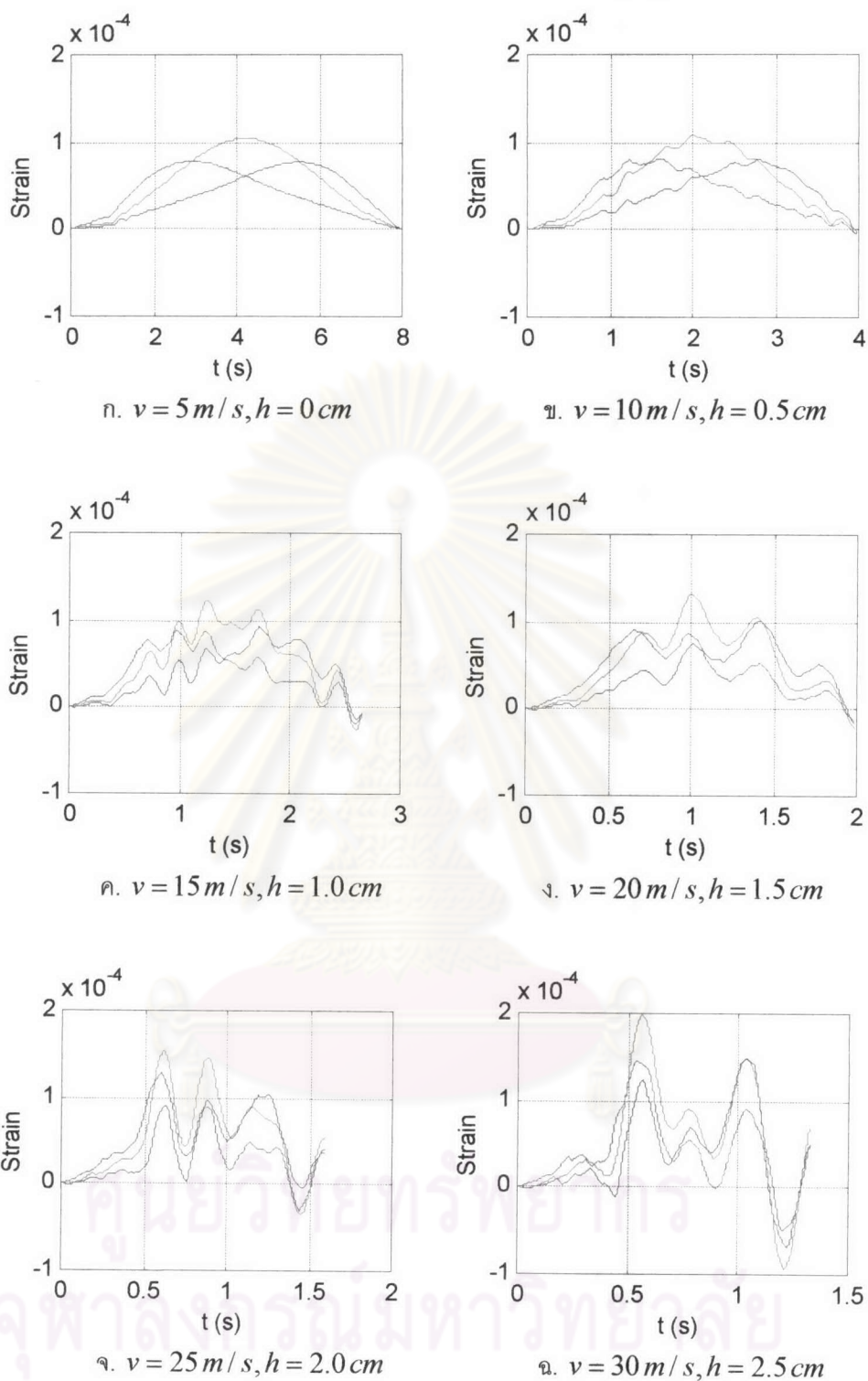


รูปที่ 6.4 ตำแหน่งจุดวัดความคิดที่ใช้เป็นข้อมูลในการหาน้ำหนักรถเมื่อไม่พิจารณาผลการบิดของสะพาน

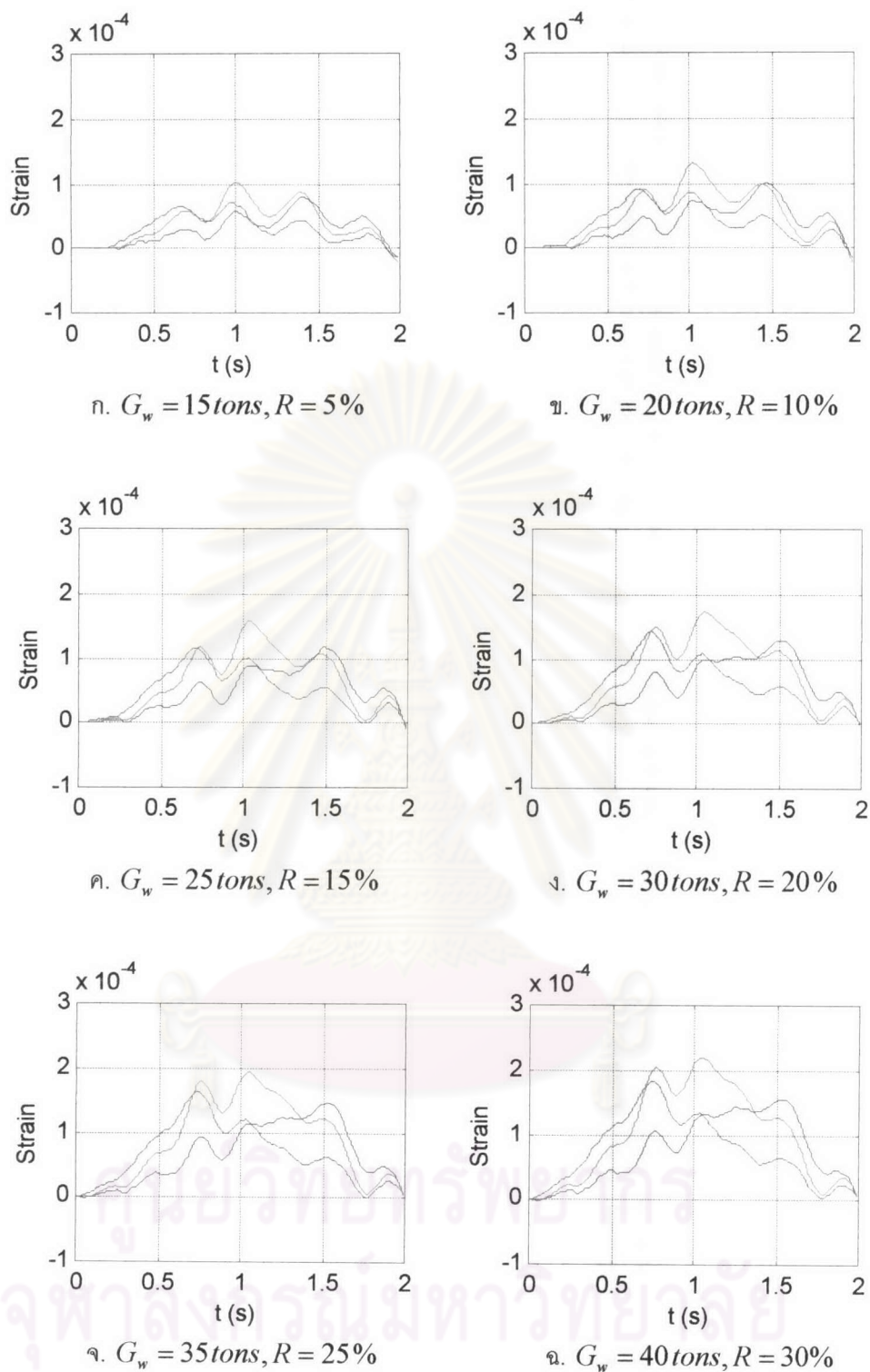
จากรูปที่ 6.5 เมื่อความเร็วรถและระดับของความขรุขระของผิวทางมีค่าน้อย จะเห็นได้ว่าสัญญาณความคิดที่ตำแหน่ง $L/4, L/2$ และ $3L/4$ จะมีรูปร่างลักษณะที่แตกต่างกันแต่ขนาด (amplitude) ของสัญญาณจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในขณะที่ความเร็วรถและระดับของความขรุขระของผิวทางมีค่ามาก สัญญาณความคิดที่ตำแหน่ง $L/4, L/2$ และ $3L/4$ จะมีรูปร่างลักษณะที่คล้ายกัน แต่ขนาดของสัญญาณจะมีความแตกต่างกันอย่างมาก ดังรูปที่ 6.5(ข)

จากรูปที่ 6.6 เมื่ออัตราส่วนของน้ำหนักเพลาน้ำต่อน้ำหนักรวมของรถ (R) มีค่ามากขึ้น จะเห็นได้ว่าสัญญาณความคิดที่ตำแหน่ง $L/4, L/2$ และ $3L/4$ ในช่วงเวลา 0-0.25 วินาที (ช่วงเวลาที่เพลาน้ำอยู่บนสะพานเพียงเพลเดียว) จะเริ่มมีความชันมากขึ้น และเมื่อน้ำหนักรวมของรถ (G_w) มีค่ามากขึ้น จะเห็นว่าขนาดของสัญญาณความคิดที่ตำแหน่ง $L/4, L/2$ และ $3L/4$ จะมีค่ามากขึ้นเช่นกัน

จากรูปที่ 6.7 เมื่อสภาวะเริ่มต้นของรถก่อนที่จะเข้าสะพานมีการสั่นไหวขึ้น-ลงอย่างมาก จะเห็นได้ว่าสัญญาณความคิดที่ตำแหน่ง $L/4$ และ $3L/4$ จะมีความถี่สูงๆ ปนอยู่มากในช่วงแรกที่รถเริ่มเข้ามาบนสะพานแล้วหลังจากนั้นจะลดน้อยลง ในขณะที่สัญญาณความคิดที่ตำแหน่ง $L/2$ ก็จะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันแต่ความถี่สูงๆ จะปนอยู่น้อยกว่าและลดน้อยลงเร็วกว่า

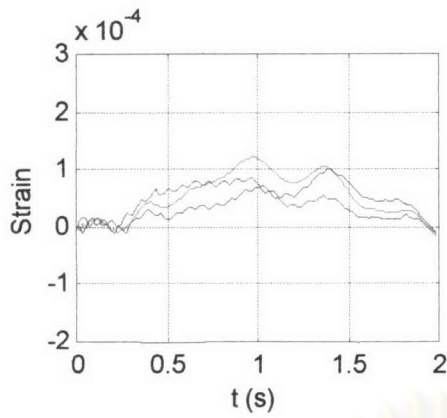


รูปที่ 6.5 สัญญาณความเครียดเนื่องจากรถบรรทุกน้ำหนัก 21 ตัน ที่ความเร็วและระดับของความขรุขระของผิวทางที่ค่าต่างๆ (— $L/4$, - - $L/2$, ··· $3L/4$)

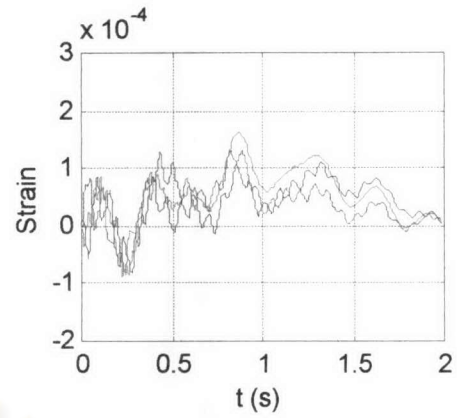


รูปที่ 6.6 สัญญาณความเครียดเนื่องจากน้ำหนักรวมของรถและอัตราส่วนของน้ำหนักเพลาน้ำต่อน้ำหนักรวมของรถมีค่าต่างๆกัน โดยมีความเร็ว 20 เมตร/วินาที และระดับของความขรุขระของผิวทาง 1.0 ซม.ม.

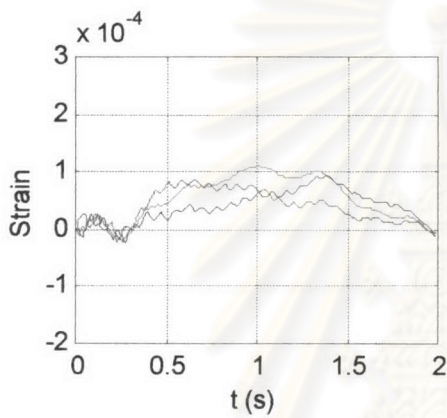
(— $L/4$, — $L/2$, — $3L/4$)



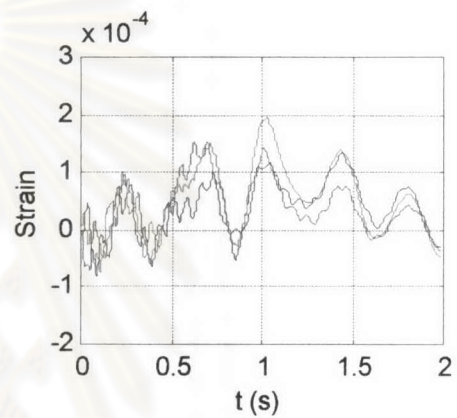
ก. $U_f = +5\text{ cm}, U_r = 0\text{ cm}$



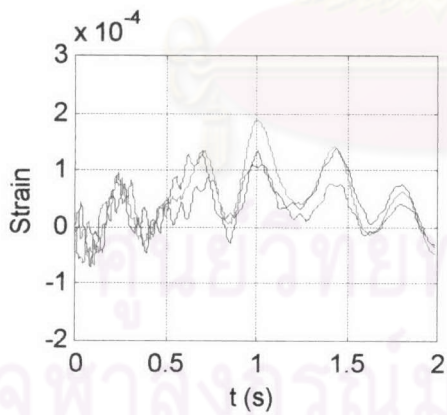
ข. $U_f = 0\text{ cm}, U_r = +10\text{ cm}$



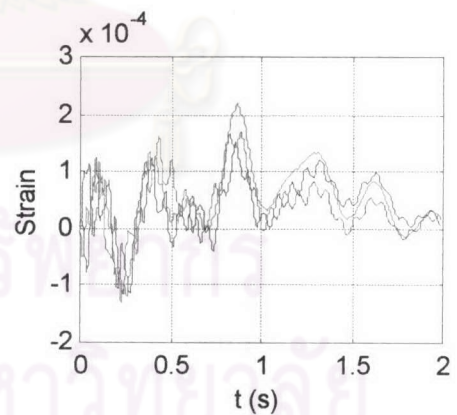
ค. $U_f = -5\text{ cm}, U_r = +5\text{ cm}$



ง. $U_f = -10\text{ cm}, U_r = -5\text{ cm}$



จ. $U_f = +5\text{ cm}, U_r = -10\text{ cm}$



ฉ. $U_f = +10\text{ cm}, U_r = +10\text{ cm}$

รูปที่ 6.7 สัญญาณความเครียดเนื่องจากรถบรรทุกน้ำหนัก 21 ตัน ความเร็ว 20 เมตรวินาที และระดับของความขรุขระของผิวทาง 1.0 ซม. โดยมีสภาวะเริ่มต้นของรถก่อนที่จะเข้าสะพานในแบบต่างๆกัน
(— $L/4$, — $L/2$, — $3L/4$)

$$s = 4.8m \quad (6.7)$$

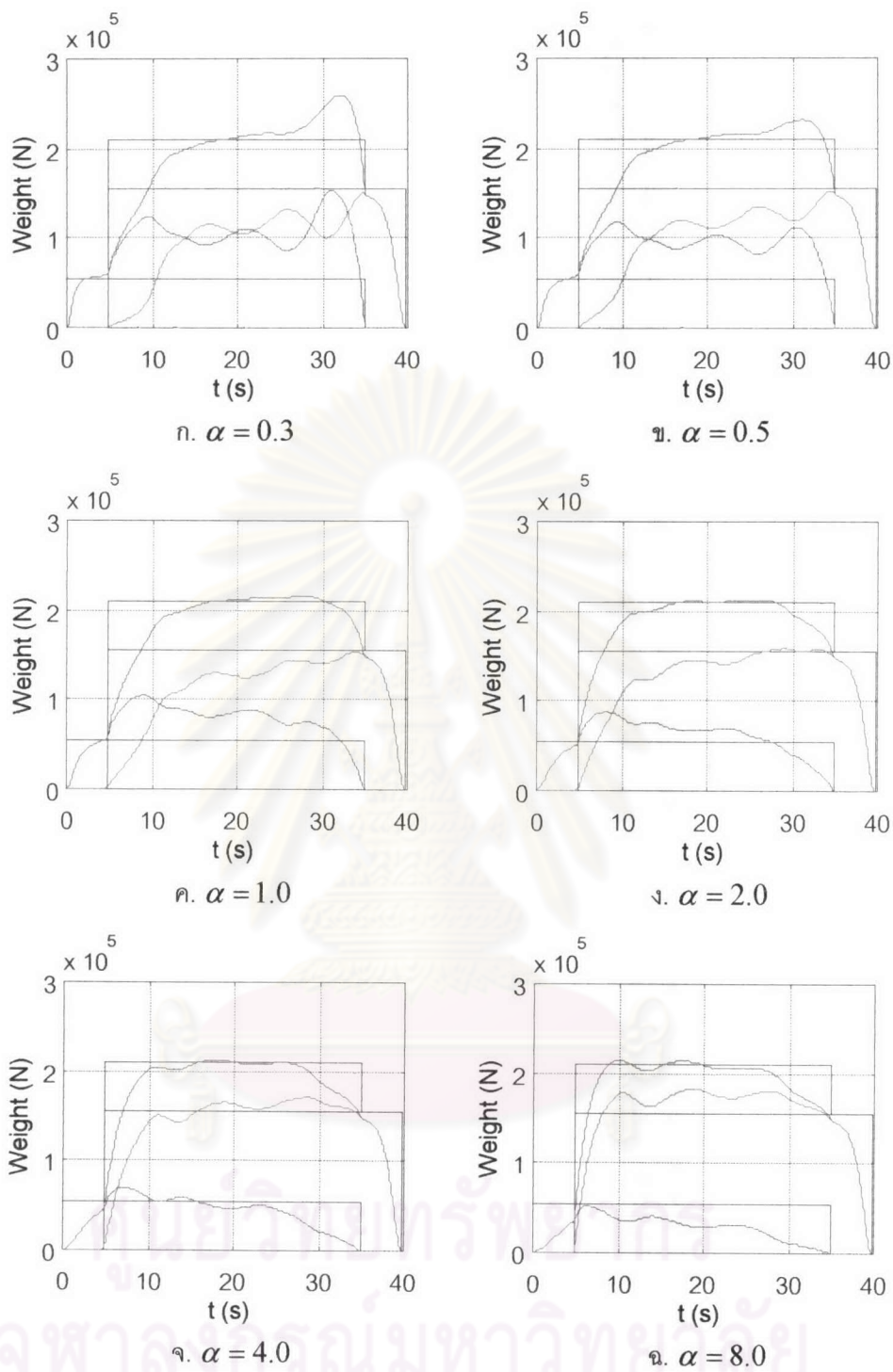
โดยที่	$Y(x_1)$	คือ	เวกเตอร์แสดงตำแหน่งของน้ำนักเพลหน้า
	$Y(x_2)$	คือ	เวกเตอร์แสดงตำแหน่งของน้ำนักเพลหลัง
	f_1	คือ	น้ำนักพลศาสตร์ของเพลหน้าที่จะหา
	f_2	คือ	น้ำนักพลศาสตร์ของเพลหลังที่จะหา
	Z_j	คือ	เมตริกซ์ของสัญญาณความเครียดที่ตำแหน่ง $L/4, L/2$ และ $3L/4$ ของข้อมูลที่ j
	Q	คือ	เมตริกซ์ที่เชื่อมโยงระหว่างสัญญาณความเครียดที่ตำแหน่ง $L/4, L/2$ และ $3L/4$ กับตัวแปรหลัก มีมิติเท่ากับ 3×28
	s	คือ	ระยะห่างระหว่างเพลหน้าและเพลหลัง

เวลาที่ใช้ในการคำนวณหาน้ำนักรถเท่ากับ 24 วินาที สำหรับคอมพิวเตอร์ Pentium III 866 MHz และเท่ากับ 10 วินาที สำหรับคอมพิวเตอร์ Pentium IV 2 GHz

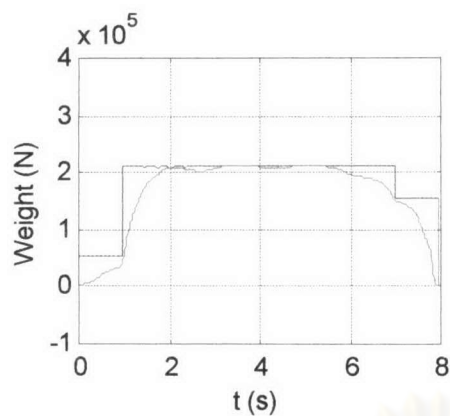
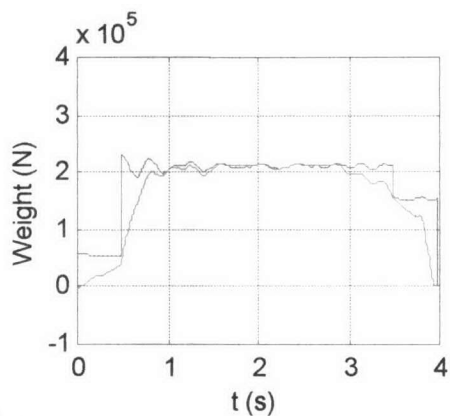
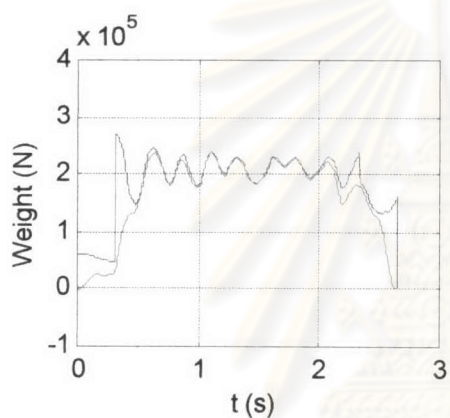
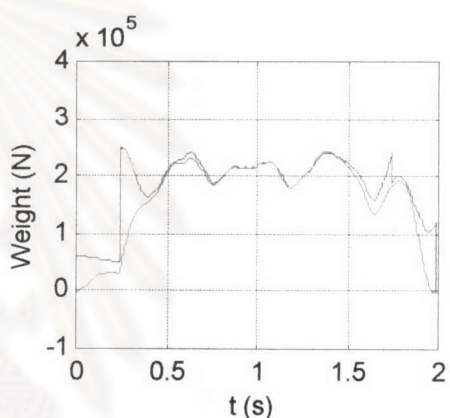
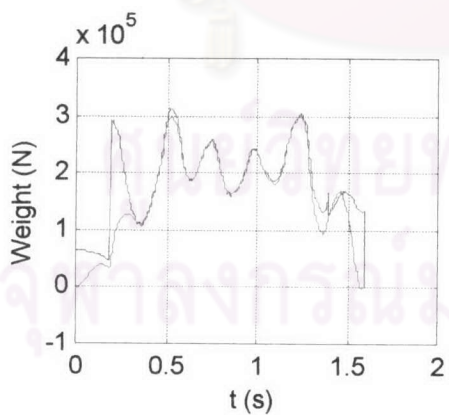
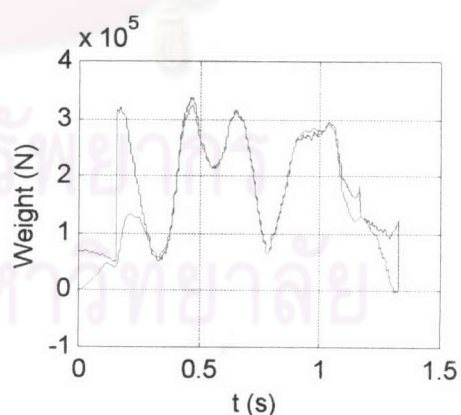
จากรูปที่ 6.9 แสดงน้ำนักรวมทางพลศาสตร์ที่หาได้โดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำนักรวมจริงทางพลศาสตร์ของรถที่ความเร็วและระดับของความขรุขระของผิวทางที่ค่าต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าไม่ว่าน้ำนักรวมจริงทางพลศาสตร์ของรถจะเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะใดก็ตาม น้ำนักรวมทางพลศาสตร์ที่หาได้โดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิงก็ยังคงใกล้เคียงกับน้ำนักรวมจริงทางพลศาสตร์ของรถเสมอ ยกเว้นบริเวณช่วงต้นและช่วงปลายของข้อมูลที่ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง

จากรูปที่ 6.10 แสดงน้ำนักรวมทางพลศาสตร์ที่หาได้โดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำนักรวมจริงทางพลศาสตร์ของรถที่น้ำนักรวมของรถและอัตราส่วนของน้ำนักเพลหน้าต่อน้ำนักรวมของรถมีค่าต่างๆกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำนักรวมจริงทางพลศาสตร์ของรถในรูปที่ 6.10 (ก)-6.10 (จ) จะมีรูปร่างลักษณะที่คล้ายคลึงกัน แตกต่างกันเฉพาะขนาดของน้ำนักที่เปลี่ยนแปลงไปตามน้ำนักรวมจริงทางสถิติเท่านั้น ซึ่งน้ำนักรวมทางพลศาสตร์ที่หาได้โดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิงก็ยังคงใกล้เคียงกับน้ำนักรวมจริงทางพลศาสตร์ของรถอยู่เช่นเดิม ยกเว้นบริเวณช่วงต้นและช่วงปลายของข้อมูลที่ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง

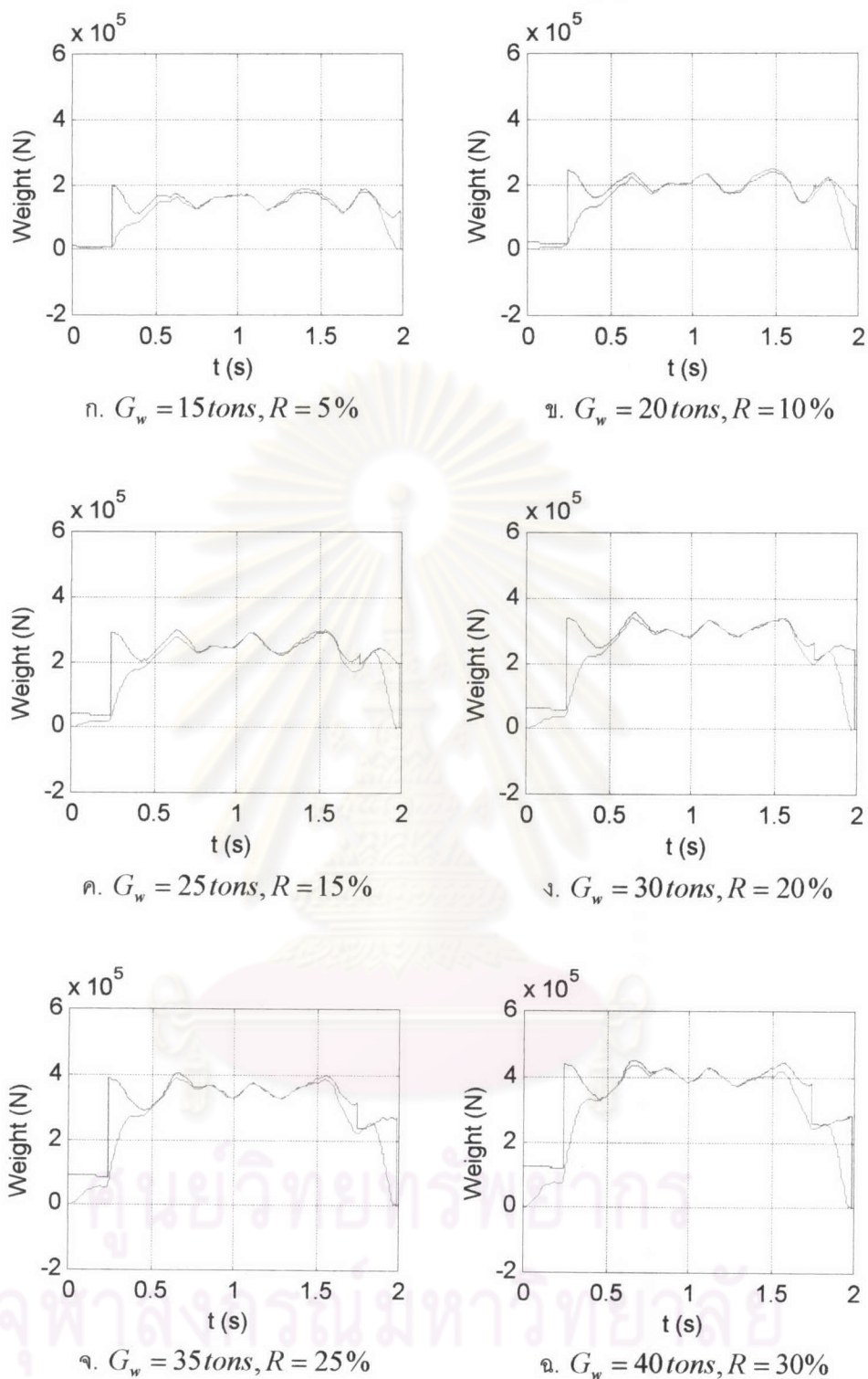
จากรูปที่ 6.11 แสดงน้ำนักรวมทางพลศาสตร์ที่หาได้โดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำนักรวมจริงทางพลศาสตร์ของรถที่มีสภาวะเริ่มต้นของรถก่อนที่จะเข้าสะพานในแบบต่างๆกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำนักรวมทางพลศาสตร์ที่หาได้โดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิงมีความใกล้เคียงกับน้ำนักรวมจริงทางพลศาสตร์ของรถในบริเวณช่วงกลางของข้อมูล และมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างในช่วงปลายของข้อมูล ส่วนในช่วงต้นของข้อมูลจะมีความคลาดเคลื่อนสูงมาก ทั้งนี้เพราะสัญญาณความเครียดที่ใช้ในการหาน้ำนักรถจะมีความถี่สูงๆ ปนอยู่มากในช่วงแรกดังที่ได้กล่าวถึงในข้างต้น



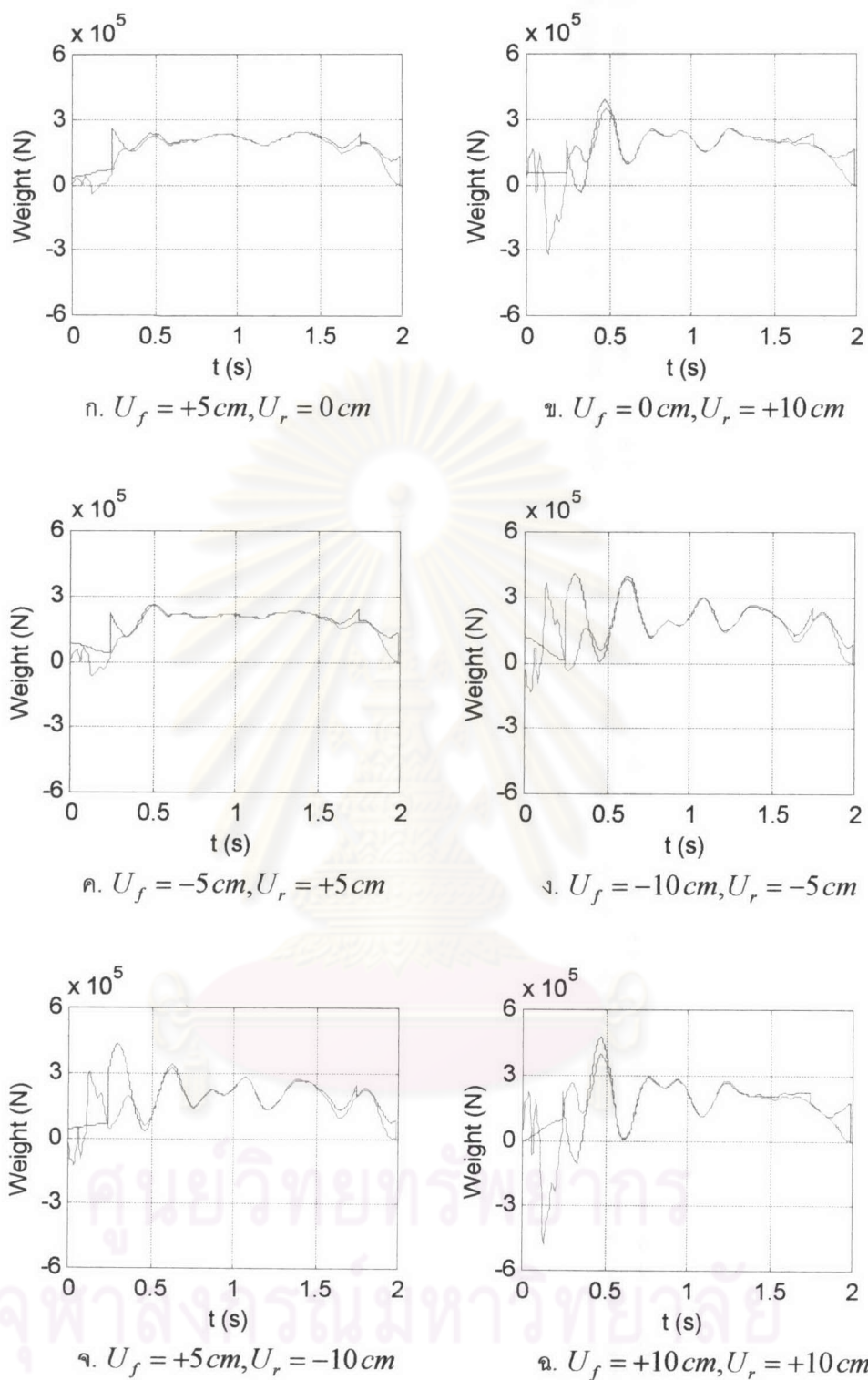
รูปที่ 6.8 การหาน้ำหนักด้วยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งโดยใช้ α ค่าต่างๆ
 (น้ำหนักเพลาหน้า, น้ำหนักเพลาหลัง และน้ำหนักรวมจริงของรถ = 5.5×10^4 N, 1.55×10^5 N และ 2.1×10^5 N
 ตามลำดับ, —, — และ — คือ น้ำหนักเพลาหน้า, น้ำหนักเพลาหลัง และน้ำหนักรวมของรถที่หาได้โดยวิธี
 ไดนามิกโปรแกรมมิ่งตามลำดับ)

ก. $v = 5 \text{ m/s}, h = 0 \text{ cm}$ ข. $v = 10 \text{ m/s}, h = 0.5 \text{ cm}$ ค. $v = 15 \text{ m/s}, h = 1.5 \text{ cm}$ ง. $v = 20 \text{ m/s}, h = 1.0 \text{ cm}$ จ. $v = 25 \text{ m/s}, h = 2.0 \text{ cm}$ ฉ. $v = 30 \text{ m/s}, h = 2.5 \text{ cm}$

รูปที่ 6.9 น้ำหนักพลศาสตร์ของรถบรรทุกน้ำหนัก 21 ตัน ที่ความเร็วและระดับของความขรุขระของผิวทางที่ค่าต่างๆ (— น้ำหนักพลศาสตร์จริง, — น้ำหนักพลศาสตร์ที่ทำได้โดยวิธีไดนามิคโปรแกรมมิง)



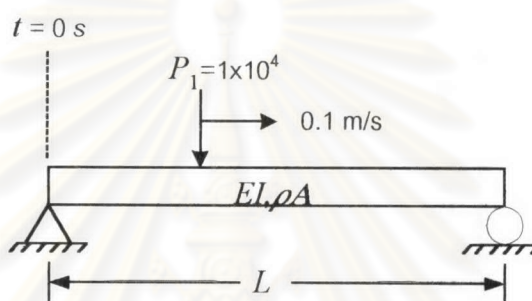
รูปที่ 6.10 น้ำหนักพลศาสตร์ของรถเนื่องจากน้ำหนักรวมของรถและอัตราส่วนของน้ำหนักเปล่าหน้าต่อน้ำหนักรวมของรถมีค่าต่างๆกัน โดยความเร็ว 20 เมตร/วินาที และระดับของความขรุขระของผิวทาง 1.0 ซ.ม.
(— น้ำหนักพลศาสตร์จริง, — น้ำหนักพลศาสตร์ที่หาได้โดยวิธีไดนามิคโปรแกรมมิง)



รูปที่ 6.11 น้ำหนักพลศาสตร์ของรถบรรทุกน้ำหนัก 21 ตัน ความเร็ว 20 เมตร/วินาที และระดับของความขรุขระของผิวทาง 1.0 ซม. โดยมีสภาวะเริ่มต้นของรถก่อนที่จะเข้าสะพานในแบบต่างๆกัน
(— น้ำหนักพลศาสตร์จริง, — น้ำหนักพลศาสตร์ที่หาได้โดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่ง)

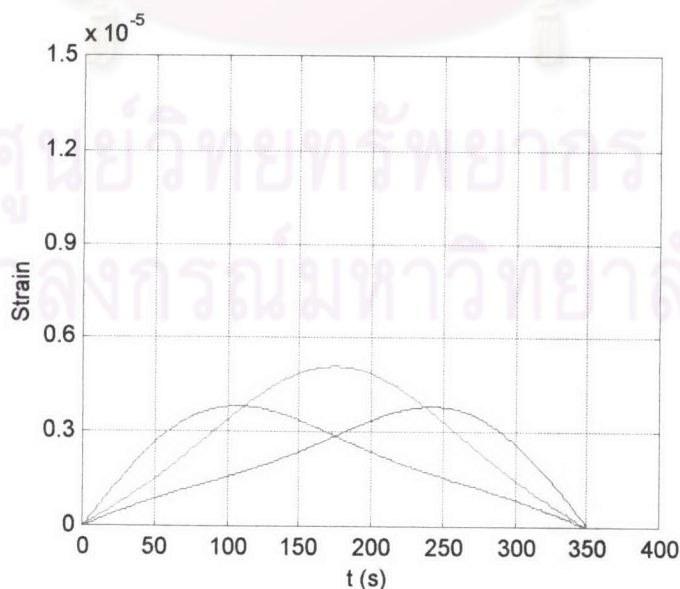
6.3 การหาน้ำหนักรถโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

การหาน้ำหนักโดยวิธีนี้จะสมมติว่าเราทราบอัตราส่วน (R_s) ของน้ำหนักทางสถิตของเพลาลัง (N_r) ต่อน้ำหนักทางสถิตของเพลาน้ำ (N_f) ที่แน่นอน โดยกำหนดให้แรง P_1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1×10^4 นิวตัน เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 0.1 เมตรต่อวินาที ไปบนคานที่มีจุดรองรับเป็นแบบธรรมดา ดังรูปที่ 6.12 (แรง P_1 เริ่มอยู่บนคานที่เวลา t เท่ากับ 0 วินาที) ซึ่งคานมีคุณสมบัติต่างๆ เหมือนกับสะพานคือ $L = 35$ เมตร, $EI = 1.71 \times 10^{10}$ นิวตัน-เมตร², $\rho A = 2745$ กิโลกรัม/เมตร, $\omega_1 = 20.1$ Hz, $\omega_2 = 80.4$ Hz, $\omega_3 = 180.9$ Hz (ω_i คือ ความถี่เชิงมุมของการสั่นไหวของคานในโหมดที่ i) $\zeta_1 = \zeta_2 = \zeta_3 = 0.01$ (ζ_i คือ สัดส่วนความหน่วง (damping ratio) ของโหมดที่ i) และระยะจากแนวแกนสะเทินถึงท้องคานเท่ากับ 1.1 เมตร



รูปที่ 6.12 แรง P_1 ซึ่งแทนเพลาน้ำเคลื่อนที่ไปบนคานด้วยความเร็วคงที่ 0.1 เมตรต่อวินาที

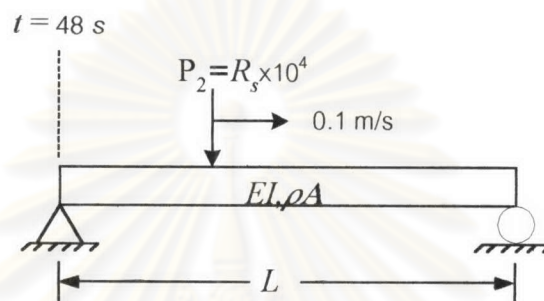
หาความเครียดที่ตำแหน่ง $L/4, L/2$ และ $3L/4$ โดยวิธีการเหมือนกับหัวข้อ 5.1 ซึ่งจะได้สัญญาณความเครียดดังรูปที่ 6.13



รูปที่ 6.13 สัญญาณความเครียดเนื่องจากแรง P_1

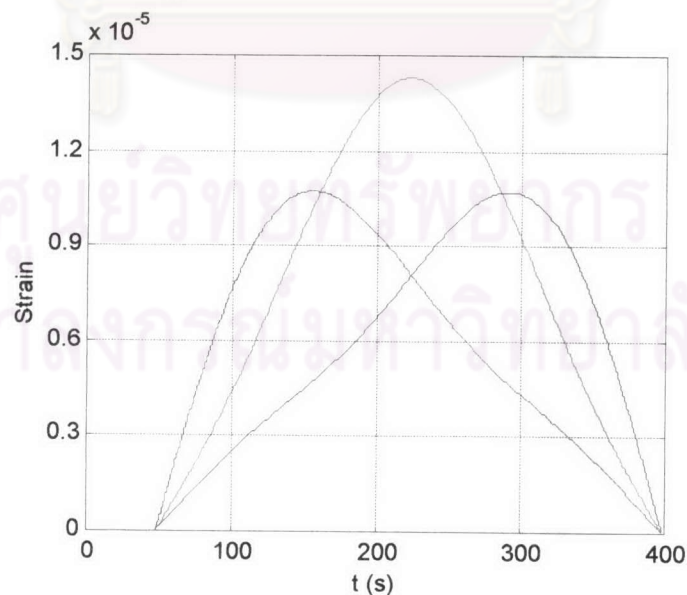
(— $L/4$, — $L/2$, — $3L/4$)

ในทำนองเดียวกันกำหนดให้แรง P_2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ $R_s \times 10^4$ นิวตัน เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 0.1 เมตรต่อวินาที ไปบนคานแบบเดียวกับแรง P_1 ดังรูปที่ 6.14 (แรง P_2 เริ่มอยู่บนคานที่เวลา $t = s/v = 4.8/0.1 = 48$ วินาที) แล้วทำการหาความเครียดที่ตำแหน่ง $L/4, L/2$ และ $3L/4$ ด้วยวิธีการเดียวกันซึ่งจะได้สัญญาณความเครียดดังรูปที่ 6.15 หลังจากนั้นนำสัญญาณความเครียดที่ตำแหน่ง $L/4$ เนื่องจากแรง P_1 และ P_2 มาทำการชุปเปอร์โพสิชันกัน จึงจะได้สัญญาณความเครียดที่ตำแหน่ง $L/4$ เนื่องจากแรง 2 แรงที่มีระยะห่างระหว่างกันเท่ากับ 4.8 เมตร โดยมี P_1 เท่ากับ 1×10^4 นิวตัน และ P_2 เท่ากับ $R_s \times 10^4$ นิวตัน และในวิธีการเดียวกันนี้ก็จะสามารถหาสัญญาณความเครียดที่ตำแหน่ง $L/2$ และ $3L/4$ ได้ดังรูปที่ 6.16

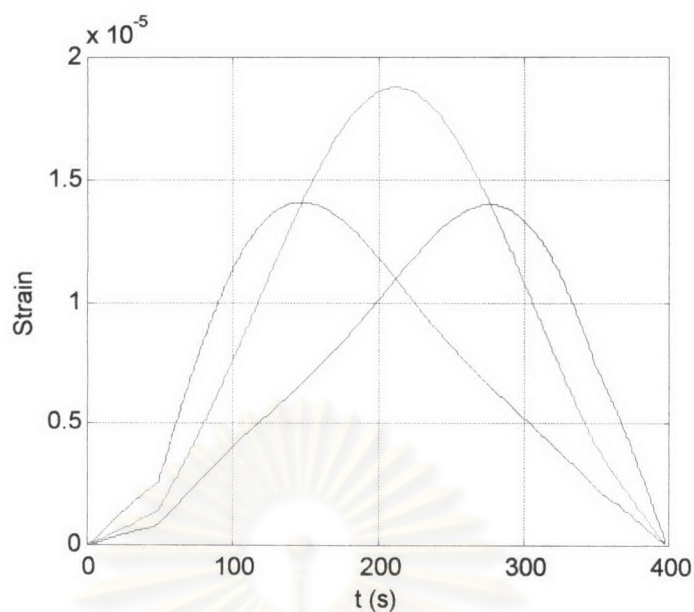


รูปที่ 6.14 แรง P_2 ซึ่งแทนเพลาลงเคลื่อนที่ไปบนคานด้วยความเร็วคงที่ 0.1 เมตรต่อวินาที

สัญญาณความเครียดที่ตำแหน่ง $L/4, L/2$ และ $3L/4$ ที่ได้จากการชุปเปอร์โพสิชันนี้ จะถูกแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 500 ช่วงเท่าๆกัน ดังนั้นจำนวนข้อมูลของสัญญาณความเครียดที่ได้จากหัวข้อ 6.3 นี้จะเท่ากับจำนวนข้อมูลของสัญญาณความเครียดที่ได้จากหัวข้อ 6.1



รูปที่ 6.15 สัญญาณความเครียดเนื่องจากแรง P_2
(— $L/4$, — $L/2$, — $3L/4$)



รูปที่ 6.16 สัญญาณความเครียดที่ได้จากการซูปเปอร์โพสิชันระหว่างแรง P_1 และแรง P_2
(— $L/4$, — $L/2$, — $3L/4$)

น้ำหนักโดยวิธียกกำลังสองน้อยที่สุดสามารถหาได้จากสมการ

$$Error = \min \sum_{j=1}^{500} [(\varepsilon_{L/4,j} - k\varepsilon'_{L/4,j})^2 + (\varepsilon_{L/2,j} - k\varepsilon'_{L/2,j})^2 + (\varepsilon_{3L/4,j} - k\varepsilon'_{3L/4,j})^2] \quad (6.8)$$

$$P_L = k(R_s + 1) \times 10^4 \quad (6.9)$$

โดยที่ $\varepsilon_{L/4}, \varepsilon_{L/2}, \varepsilon_{3L/4}$ คือ สัญญาณความเครียดที่ตำแหน่ง $L/4, L/2$ และ $3L/4$ ตามลำดับ ซึ่งได้จากหัวข้อที่ 6.1

$\varepsilon'_{L/4}, \varepsilon'_{L/2}, \varepsilon'_{3L/4}$ คือ สัญญาณความเครียดที่ตำแหน่ง $L/4, L/2$ และ $3L/4$ ตามลำดับ ซึ่งได้จากการซูปเปอร์โพสิชันระหว่างแรง P_1 และแรง P_2

k คือ ค่าที่ทำให้ $Error$ ในสมการ (6.8) มีค่าน้อยที่สุด

P_L คือ น้ำหนักรวมของรถที่หาได้โดยวิธียกกำลังสองน้อยที่สุด หน่วยเป็น นิวตัน

จากสมการที่ (6.8) และ (6.9) จะได้ P_L ซึ่งเป็นน้ำหนักรวมของรถที่หาได้โดยวิธียกกำลังสองน้อยที่สุด ซึ่งมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามโดเมนของเวลา แสดงได้ดังรูปที่ 6.17, 6.18 และ 6.19

จากรูปที่ 6.17 จะเห็นว่าเมื่อน้ำหนักรวมจริงทางพลศาสตร์ของรถมีการสั่นไหวมากขึ้น (ซึ่งเป็นผลมาจากความเร็วของรถและระดับของความขรุขระของผิวทางมีค่ามากขึ้น) น้ำหนักรวมที่หาได้โดยวิธียกกำลังสองน้อยที่สุดจะมีค่าสูงกว่าน้ำหนักรวมจริงทางสถิตของรถมากขึ้น

จากรูปที่ 6.18 จะเห็นได้ว่าน้ำหนักรวมที่หาได้โดยวิธียกกำลังสองน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักรวมจริงทางสถิติจะมีสัดส่วนคงที่ นั่นคือ อัตราส่วนของน้ำหนักเพลาน้ำต่อน้ำหนักรวมของรถ ไม่มีผลต่อการหาน้ำหนักรวมของรถโดยวิธียกกำลังสองน้อยที่สุด

จากรูปที่ 6.19 จะเห็นได้ว่าน้ำหนักรวมที่หาได้โดยวิธียกกำลังสองน้อยที่สุดจะมีค่าค่อนข้างคงที่ นั่นคือ สภาวะเริ่มต้นของรถก่อนที่จะเข้าสะพาน ไม่มีผลต่อการหาน้ำหนักรวมของรถโดยวิธียกกำลังสองน้อยที่สุดเช่นเดียวกัน

6.4 การเปรียบเทียบน้ำหนักรวมของรถที่หาได้โดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งและวิธียกกำลังสองน้อยที่สุด

น้ำหนักรวมที่หาได้จากทั้งสองวิธีจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับน้ำหนักรวมจริงทั้งทางสถิติและทางพลศาสตร์ เพื่อหาความคลาดเคลื่อนของแต่ละวิธีเมื่อพิจารณาผลของความเร็วรถกับระดับของความขรุขระของผิวทาง ผลของน้ำหนักรวมกับสัดส่วนระหว่างน้ำหนักเพลาน้ำต่อน้ำหนักรวม และผลของสภาวะเริ่มต้นของตำแหน่งรถด้านหน้ากับตำแหน่งรถด้านหลัง

6.4.1 พิจารณาผลของความเร็วรถกับระดับของความขรุขระของผิวทาง

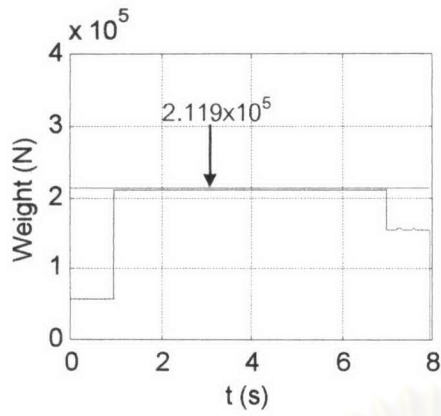
6.4.1.1 การเปรียบเทียบกับน้ำหนักรวมจริงทางสถิติ

น้ำหนักรวมที่หาได้จากวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งจะเป็นน้ำหนักรวมทางพลศาสตร์ ดังนั้นเพื่อที่จะนำมาเปรียบเทียบกับน้ำหนักรวมทางสถิติ จึงต้องทำการหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักดังกล่าวเสียก่อน ซึ่งจากรูปที่ 6.5, 6.6 และ 6.7 จะสังเกตเห็นได้ว่าช่วงกลางของข้อมูลมีความใกล้เคียงกับน้ำหนักรวมจริงทางสถิติมากที่สุด ดังนั้นจึงทำการหาค่าเฉลี่ยโดยใช้ข้อมูลที่ 151 ถึง 350 (รวมทั้งหมด 200 ข้อมูล) ในการหาค่าเฉลี่ย โดยที่ค่าความคลาดเคลื่อนของทั้ง 2 วิธีสามารถนิยามได้ดังนี้

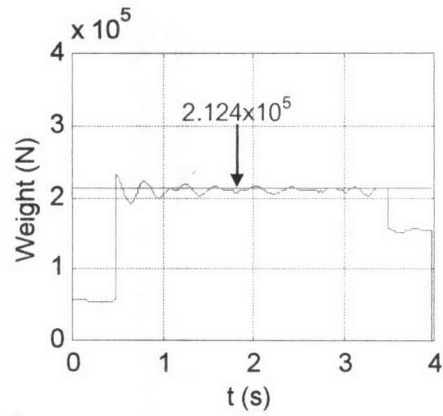
$$E_{s,D} = \frac{|P_D - 2.1 \times 10^5|}{2.1 \times 10^5} \times 100\% \quad (6.10)$$

$$E_{s,L} = \frac{|P_L - 2.1 \times 10^5|}{2.1 \times 10^5} \times 100\% \quad (6.11)$$

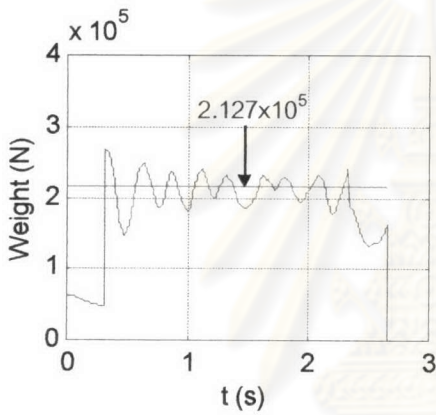
โดยที่	$E_{s,D}$	คือ ความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมทางสถิติโดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่ง
	$E_{s,L}$	คือ ความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมทางสถิติโดยวิธี ยกกำลังสองน้อยที่สุด
	P_D	คือ น้ำหนักรวมเฉลี่ยของข้อมูลที่ 151-350 จากวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่ง
	P_L	คือ น้ำหนักรวมที่หาได้จากวิธียกกำลังสองน้อยที่สุด



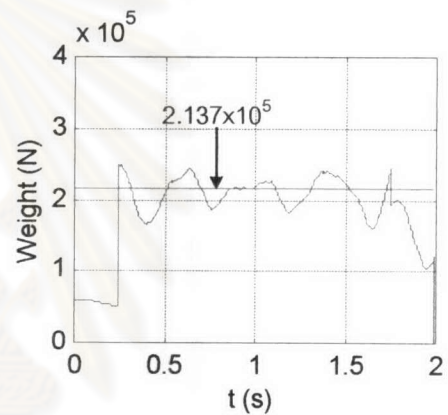
ก. $v = 5 \text{ m/s}, h = 0 \text{ cm}$



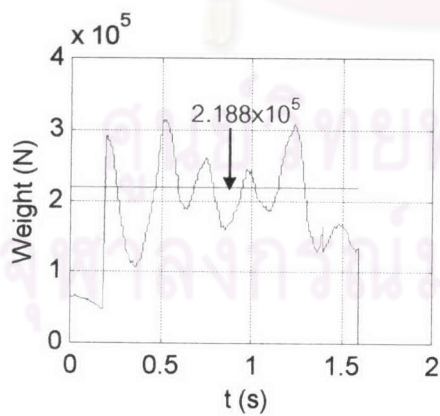
ข. $v = 10 \text{ m/s}, h = 0.5 \text{ cm}$



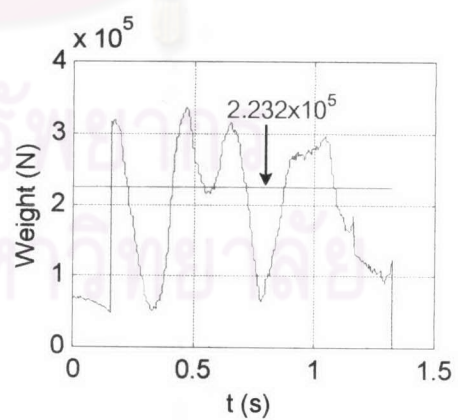
ค. $v = 15 \text{ m/s}, h = 1.5 \text{ cm}$



ง. $v = 20 \text{ m/s}, h = 1.0 \text{ cm}$

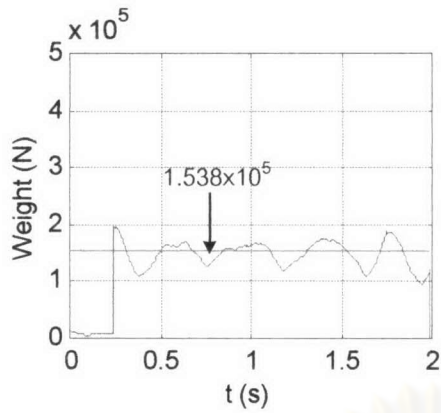


จ. $v = 25 \text{ m/s}, h = 2.0 \text{ cm}$

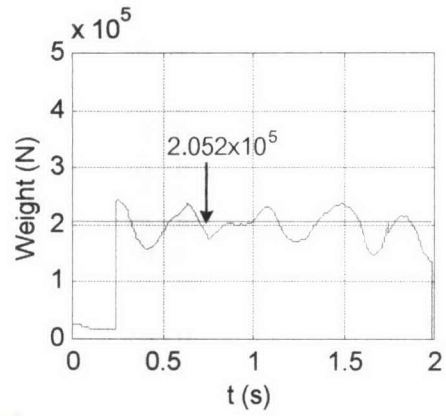


ฉ. $v = 30 \text{ m/s}, h = 2.5 \text{ cm}$

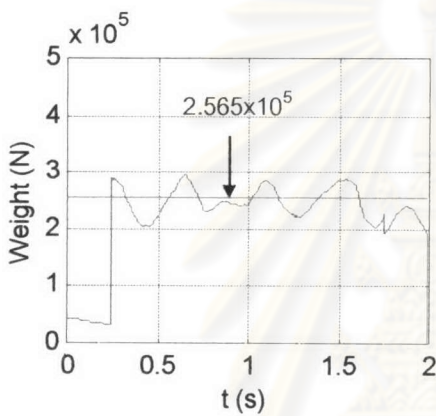
รูปที่ 6.17 น้ำหนักพลศาสตร์ของรถบรรทุกน้ำหนัก 21 ตัน ที่ความเร็วและระดับของความขรุขระของผิวทางที่ค่าต่างๆ (— น้ำหนักพลศาสตร์จริง, — น้ำหนักที่หาได้โดยวิธียกกำลังสองน้อยที่สุด)



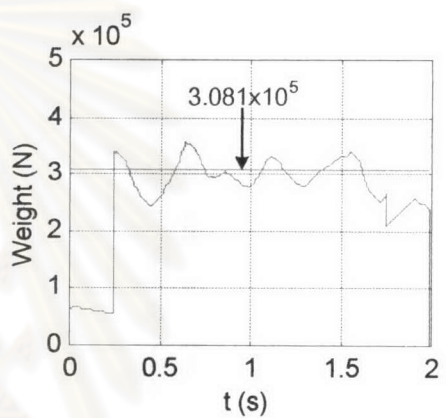
ก. $G_w = 15 \text{ tons}, R = 5\%$



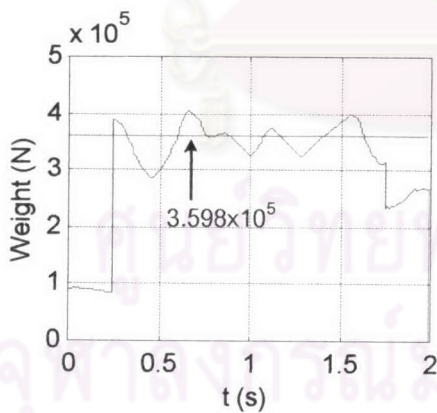
ข. $G_w = 20 \text{ tons}, R = 10\%$



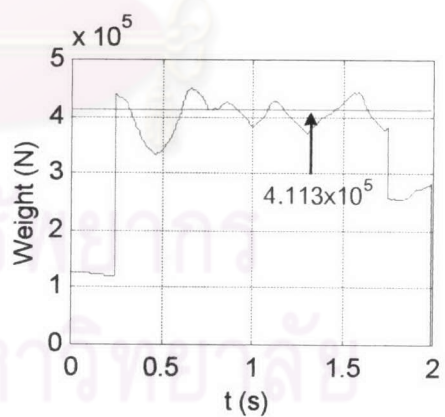
ค. $G_w = 25 \text{ tons}, R = 15\%$



ง. $G_w = 30 \text{ tons}, R = 20\%$

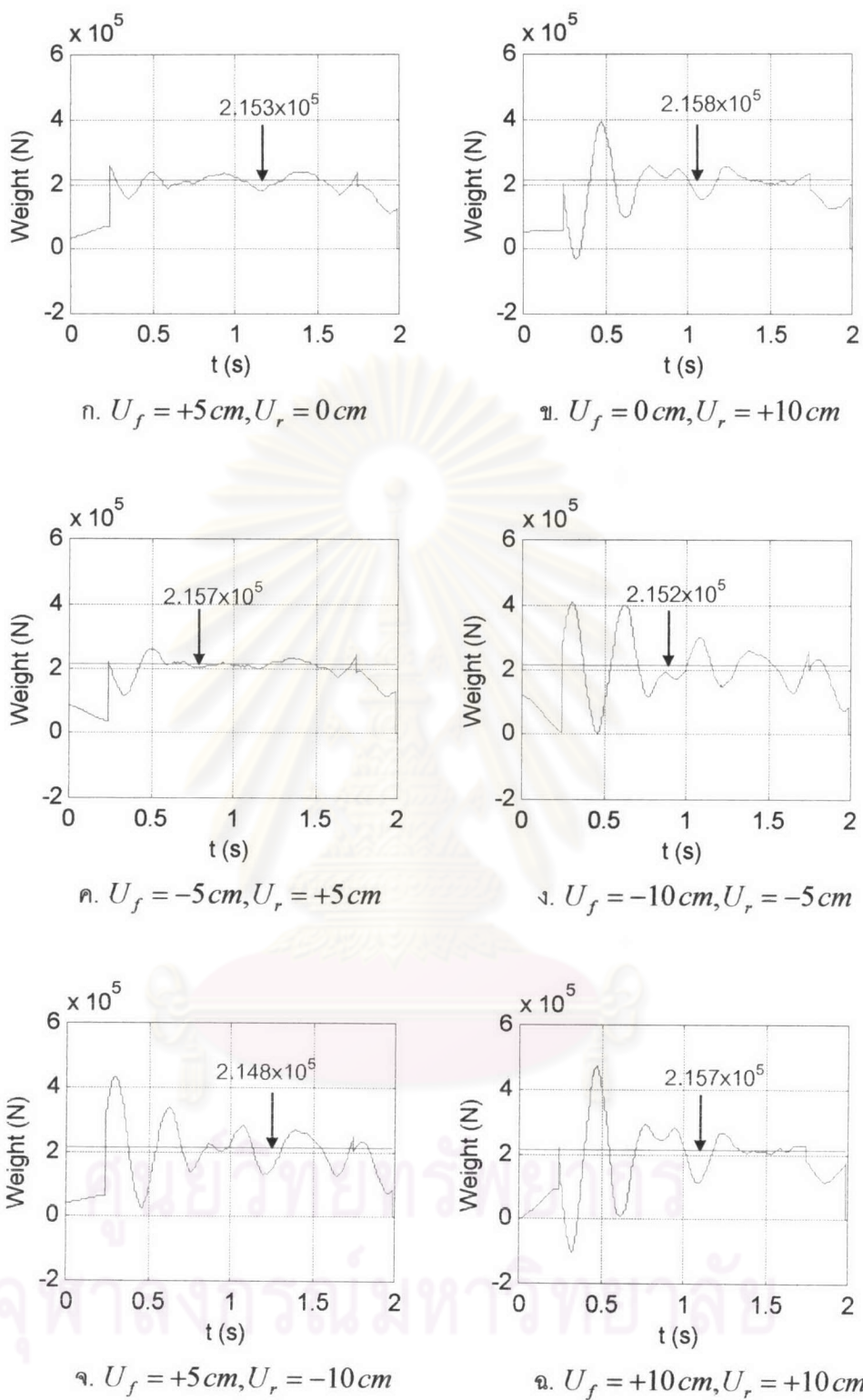


จ. $G_w = 35 \text{ tons}, R = 25\%$



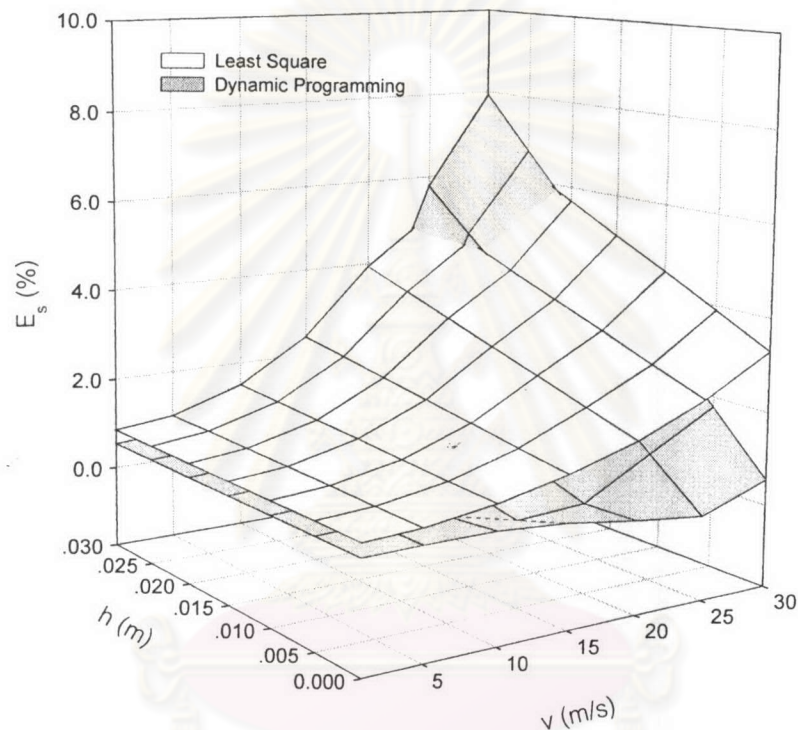
ฉ. $G_w = 40 \text{ tons}, R = 30\%$

รูปที่ 6.18 น้ำหนักพลศาสตร์ของรถเนื่องจากน้ำหนักรวมของรถและอัตราส่วนของน้ำหนักเพลาหน้าต่อน้ำหนักรวมของรถมีค่าต่างๆกัน โดยความเร็ว 20 เมตร/วินาที และระดับของความขรุขระของผิวทาง 1.0 ซม. (— น้ำหนักพลศาสตร์จริง, - - - น้ำหนักที่หาได้โดยวิธียกกำลังสองน้อยที่สุด)



รูปที่ 6.19 น้ำหนักพลศาสตร์ของรถบรรทุกน้ำหนัก 21 ตัน ความเร็ว 20 เมตร/วินาที และระดับของความขรุขระของผิวทาง 1.0 ซม. โดยมีสภาวะเริ่มต้นของรถก่อนที่จะเข้าสะพานในแบบต่างๆกัน (— น้ำหนักพลศาสตร์จริง, — น้ำหนักที่หาได้โดยวิธียกกำลังสองน้อยที่สุด)

จากรูปที่ 6.20 จะเห็นได้ว่าโดยส่วนใหญ่ค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักรวมทางสถิติของวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่ง จะน้อยกว่าของวิธียกกำลังสองน้อยที่สุด ยกเว้นในช่วงที่ความเร็ว 25-30 เมตร/วินาที และระดับของความขรุขระเท่ากับ 2.5-3.0 เซนติเมตร ค่าความคลาดเคลื่อนโดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งจะสูงกว่าค่าความคลาดเคลื่อนโดยวิธียกกำลังสองน้อยที่สุด เพราะที่ช่วงความเร็วและช่วงระดับของความขรุขระที่ค่าดังกล่าวนั้น เมื่อพิจารณาจากรูป 6.9(ด) แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักรวมที่หาได้จากวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งจะมีการสั่นไหวอย่างมาก ดังนั้นเมื่อทำการหาค่าเฉลี่ยเพื่อหาน้ำหนักรวมทางสถิติ จึงได้ค่าที่ต่างไปจากน้ำหนักรวมจริงทางสถิติมากกว่าวิธียกกำลังสองน้อยที่สุด



รูปที่ 6.20 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมทางสถิติโดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งและวิธียกกำลังสองน้อยที่สุด ที่ความเร็วและระดับของความขรุขระต่างๆกัน

6.4.1.2 การเปรียบเทียบกับน้ำหนักรวมจริงทางพลศาสตร์

การหาค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมทางพลศาสตร์จะใช้ข้อมูลที่ 151 จนถึงข้อมูลที่ 350 (รวมทั้งหมด 200 ข้อมูล) โดยนิยามค่าความคลาดเคลื่อนของทั้ง 2 วิธีดังนี้

$$E_{d,D} = \frac{\sqrt{\left(\sum_{i=151}^{350} (F_{real,i} - F_{iden,i})^2 \right) / 200}}{2.1 \times 10^5} \times 100\% \quad (6.12)$$

$$E_{d,L} = \frac{\sqrt{\left(\sum_{i=151}^{350} (F_{real,i} - P_L)^2\right) / 200}}{2.1 \times 10^5} \times 100\% \quad (6.13)$$

โดยที่ $E_{d,D}$ คือความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมทางพลศาสตร์โดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่ง
 $E_{d,L}$ คือความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมทางพลศาสตร์โดยวิธี ยกกำลังสองน้อยที่สุด
 $F_{real,i}$ คือน้ำหนักจริงของรถ ณ ตำแหน่งข้อมูลที่ i
 $F_{iden,i}$ คือน้ำหนักที่หาได้โดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่ง ณ ตำแหน่งข้อมูลที่ i

จากรูปที่ 6.21 จะเห็นได้ว่าโดยส่วนใหญ่ค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักรวมทางพลศาสตร์ของวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งจะมีค่าน้อยกว่าของวิธียกกำลังสองน้อยที่สุด และค่าความคลาดเคลื่อนของวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งจะเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงแคบๆ ในขณะที่ค่าความคลาดเคลื่อนของวิธียกกำลังสองน้อยที่สุดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วหรือระดับของความขรุขระเพิ่มมากขึ้น เพราะไม่ว่าน้ำหนักรวมจริงทางพลศาสตร์ของรถจะเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะใดก็ตาม น้ำหนักรวมทางพลศาสตร์ที่หาได้โดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งก็ยังคงใกล้เคียงกับน้ำหนักรวมจริงทางพลศาสตร์ของรถเสมอในช่วงกลางของข้อมูล ส่วนน้ำหนักรวมที่หาได้โดยวิธียกกำลังสองน้อยที่สุดจะมีค่าคงที่ ดังนั้นเมื่อน้ำหนักรวมจริงทางพลศาสตร์มีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น น้ำหนักรวมที่หาได้โดยวิธียกกำลังสองน้อยที่สุดก็จะต่างจากน้ำหนักรวมจริงทางพลศาสตร์มากยิ่งขึ้น

6.4.2 พิจารณาผลของน้ำหนักรวมและสัดส่วนระหว่างน้ำหนักล้อหน้าต่อน้ำหนักรวม

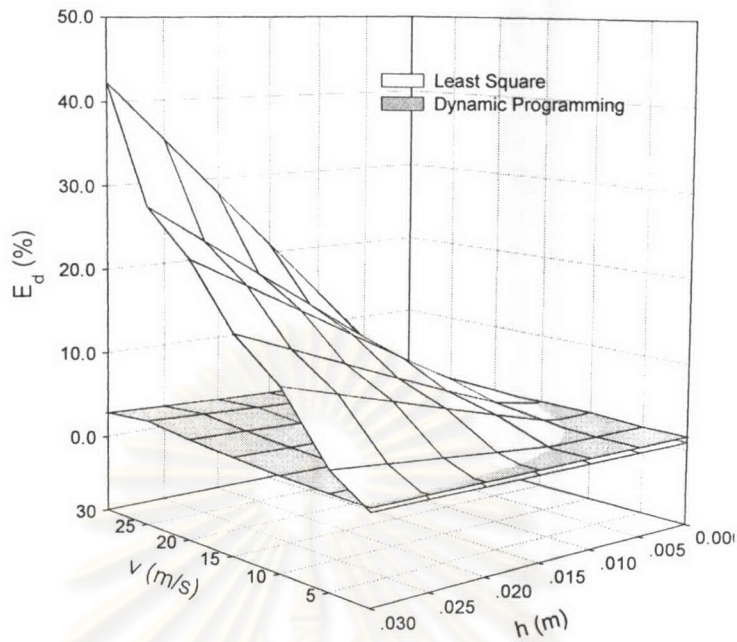
6.4.2.1 การเปรียบเทียบกับน้ำหนักรวมจริงทางสถิต

วิธีหาค่าความคลาดเคลื่อนของทั้งวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งและวิธียกกำลังสองน้อยที่สุด จะเหมือนกับหัวข้อ 6.4.1.1 เพียงแต่น้ำหนักรวมของรถจะเปลี่ยนแปลงไปดังนี้

$$E_{s,D} = \frac{|P_D - G_w|}{G_w} \times 100\% \quad (6.14)$$

$$E_{s,L} = \frac{|P_L - G_w|}{G_w} \times 100\% \quad (6.15)$$

โดยที่ G_w คือ น้ำหนักรวมของรถ



รูปที่ 6.21 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมทางพลศาสตร์โดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งและวิธียกกำลังสองน้อยที่สุด ที่ความเร็วและระดับของความขรุขระต่างๆกัน

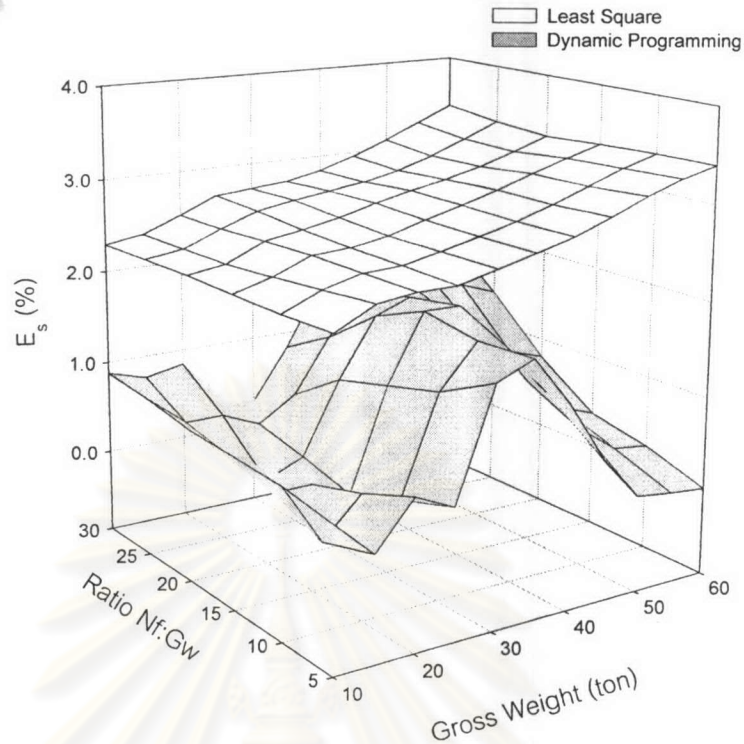
จากรูปที่ 6.22 จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมทางสถิติโดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งน้อยกว่าของวิธียกกำลังสองน้อยที่สุดในทุกกรณี

6.4.2.2 การเปรียบเทียบกับน้ำหนักรวมจริงทางพลศาสตร์

วิธีหาค่าความคลาดเคลื่อนของทั้งวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งและวิธียกกำลังสองน้อยที่สุด จะเหมือนกับหัวข้อ 6.4.1.2 เพียงแต่น้ำหนักรวมของรถจะเปลี่ยนแปลงไปดังนี้

$$E_{s,D} = \frac{\sqrt{\left(\sum_{i=151}^{350} (F_{real,i} - F_{iden,i})^2\right) / 200}}{G_w} \times 100\% \quad (6.16)$$

$$E_{s,L} = \frac{\sqrt{\left(\sum_{i=151}^{350} (F_{real,i} - P_L)^2\right) / 200}}{G_w} \times 100\% \quad (6.17)$$



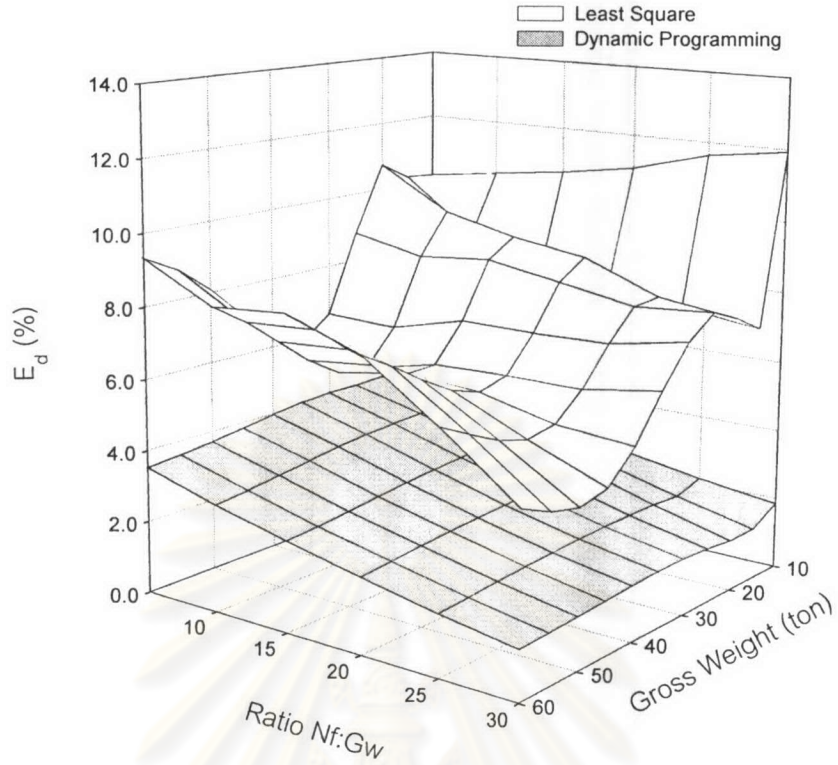
รูปที่ 6.22 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมทางสถิติโดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งและวิธียกกำลังสองน้อยที่สุด ซึ่งมีน้ำหนักรวมและสัดส่วนของน้ำหนักเพลาน้ำต่อน้ำหนักรวมต่างกัน

จากรูปที่ 6.23 จะเห็นได้ว่าเมื่อสัดส่วนของน้ำหนักเพลาน้ำต่อน้ำหนักรวมมีค่าเพิ่มขึ้น ความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมทางพลศาสตร์โดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งจะมีค่าลดลง และค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมทางพลศาสตร์โดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งจะมีค่าน้อยกว่าของวิธียกกำลังสองน้อยที่สุดในทุกกรณี

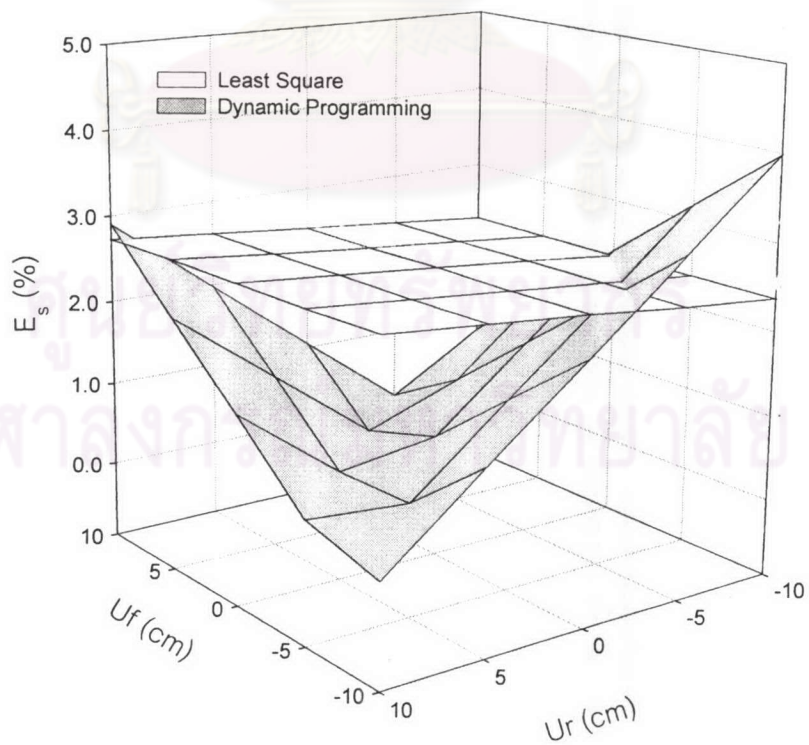
6.4.3 พิจารณามลของสภาวะเริ่มต้นของตำแหน่งรถด้านหน้ากับตำแหน่งรถด้านหลัง

6.4.3.1 การเปรียบเทียบกับน้ำหนักรวมจริงทางสถิติ

จากรูปที่ 6.24 จะเห็นได้ว่าโดยส่วนใหญ่ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมทางสถิติโดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งจะมีค่าน้อยกว่าของวิธียกกำลังสองน้อยที่สุด ยกเว้นในกรณีที่สภาวะเริ่มต้นของตำแหน่งด้านหน้าและด้านหลังของรถมีการสั่นขึ้นหรือลงพร้อมกัน ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมทางสถิติโดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งจะมีค่าสูงกว่าของวิธียกกำลังสองน้อยที่สุด



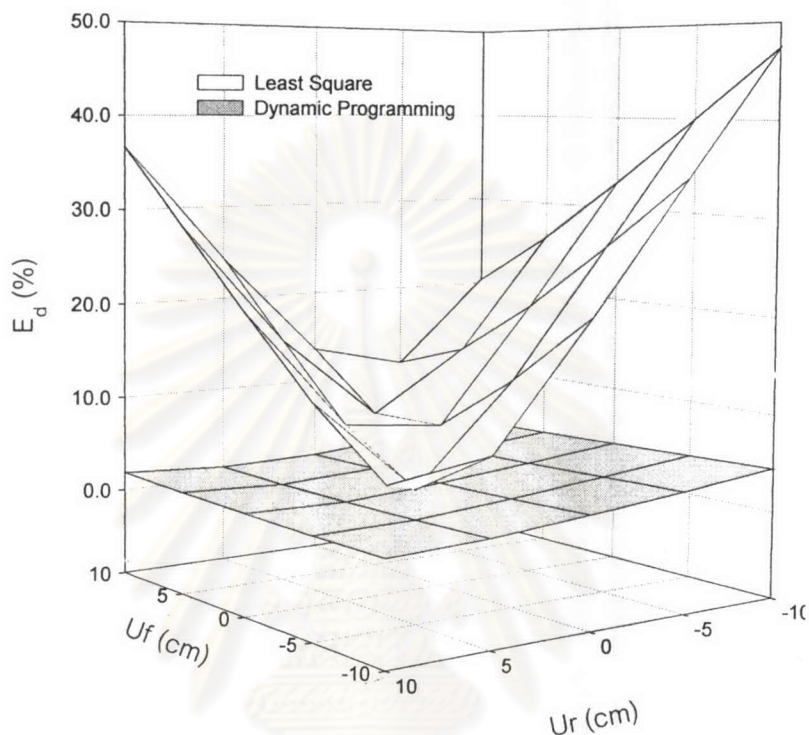
รูปที่ 6.23 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมทางพลศาสตร์โดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งและวิธียกกำลังสองน้อยที่สุด ซึ่งมีน้ำหนักรวมและสัดส่วนของน้ำหนักเพลาน้ำต่อน้ำหนักรวมต่างกัน



รูปที่ 6.24 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมทางสถิตโดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งและวิธียกกำลังสองน้อยที่สุด ที่สภาวะเริ่มต้นของตำแหน่งด้านหน้าและด้านหลังของรถมีค่าต่างๆกัน

6.4.3.2 การเปรียบเทียบกับน้ำหนักรวมจริงทางพลศาสตร์

จากรูปที่ 6.25 จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมทางพลศาสตร์โดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งน้อยกว่าของวิธียกกำลังสองน้อยที่สุดในทุกกรณี

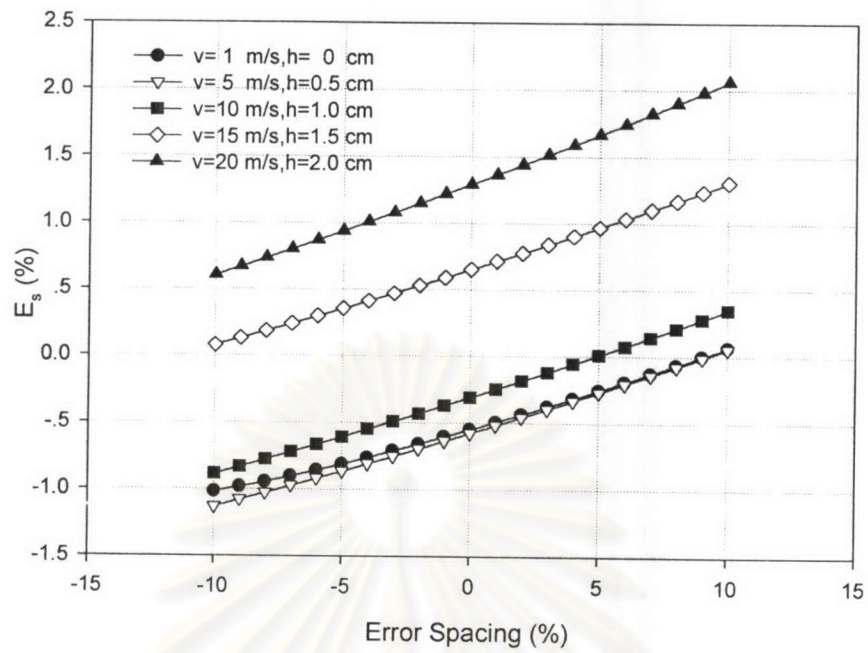


รูปที่ 6.25 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมทางพลศาสตร์โดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งและวิธียกกำลังสองน้อยที่สุด ที่สภาวะเริ่มต้นของตำแหน่งด้านหน้าและด้านหลังของรถมีค่าต่าง ๆ กัน

6.5 ผลของความคลาดเคลื่อนของระยะห่างระหว่างเพลาน้ำหนักที่ต่อการหาน้ำหนักรถด้วยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่ง

ในหัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบการหาน้ำหนักรถ ด้วยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งโดยการสมมติว่าการวัดระยะห่างระหว่างเพลาน้ำหนักและเพลาลังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 10\%$ หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ว่าผลจากความคลาดเคลื่อนดังกล่าวนี้ส่งผลกระทบต่อผลการหาน้ำหนักโดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งมากน้อยเพียงใด โดยกำหนดให้น้ำหนักเพลาน้ำหนักและเพลาลังเท่ากับ 5.5 ตัน และ 15.5 ตัน ตามลำดับ

จากรูปที่ 6.26 จะเห็นได้ว่าความคลาดเคลื่อนของระยะห่างระหว่างเพลาน้ำหนักในช่วง $\pm 10\%$ ส่งผลให้ความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมทางพลศาสตร์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมไม่เกิน 1% ซึ่งนับว่าน้อยมาก



รูปที่ 6.26 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมทางสถิติโดยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งที่ความคลาดเคลื่อนของระยะห่างระหว่างเพลามีค่าต่างๆกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย